

**SEMICONDUCTOR ACCELERATION SENSOR AND MANUFACTURE
THEREOF AS WELL AS DETECTING SYSTEM OF ACCELERATION BY THE
SENSOR**

Patent number: JP7167885
Publication date: 1995-07-04
Inventor: KAWABATA TATSUHISA; others: 01
Applicant: OMRON CORP
Classification:
- **international:** G01P15/08; G01P15/02; H01L29/84
- **europaean:**
Application number: JP19930342592 19931213
Priority number(s):

Abstract of JP7167885

PURPOSE:To obtain a microminiature semiconductor acceleration sensor using a pulse transform method of an electromagnetic conduction system.

CONSTITUTION:An arm 2 having elasticity is supported on a support 4, in parallel to a silicon base 1. A movable electrode 6 in the shape of a rectangular pulse of a prescribed pitch (d) is supported in the vicinity of the fore end of the arm 2, in parallel to the base 1, and a flat-plate-shaped weight part 3 is provided at the fore end of the arm 2. A fixed electrode 8 in the shape of the rectangular pulse is formed on the base 1 oppositely to the movable electrode 6 and an insulating film 9 of SiN is formed on the surface of the base 1, while a recession 5 is formed in the surface of the base 1 so that the weight part 3 can be displaced swingably in directions of the axis X and the thickness thereof. A constant current is made to flow through the movable electrode 6 from an input terminal 10, and acceleration is detected by detecting the number of pulses of an induced current generated in the fixed electrode 8 by the acceleration applied.

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-167885

(43)公開日 平成7年(1995)7月4日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 P 15/08	Z			
15/02	A			
H 0 1 L 29/84	A	8932-4M		

審査請求 未請求 請求項の数33 F D (全 22 頁)

(21)出願番号 特願平5-342592

(22)出願日 平成5年(1993)12月13日

(71)出願人 000002945

オムロン株式会社

京都府京都市右京区花園土堂町10番地

(72)発明者 川畑 達央

京都府京都市右京区花園土堂町10番地 オムロン株式会社内

(72)発明者 坂田 稔

京都府京都市右京区花園土堂町10番地 オムロン株式会社内

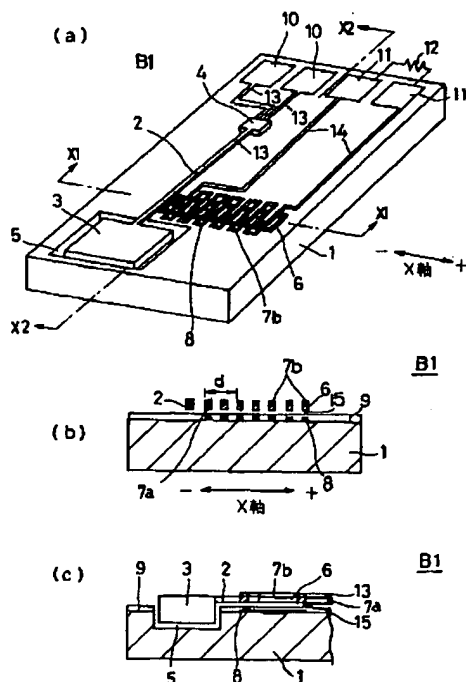
(74)代理人 弁理士 中野 雅房

(54)【発明の名称】 半導体加速度センサ及びその製造方法、ならびに当該半導体加速度センサによる加速度検出方式

(57)【要約】

【目的】 電磁誘導方式のパルス変換法を用いた超小型半導体加速度センサを提供する。

【構成】 弾性を有するアーム2をシリコン基板1と平行に支持台4に支持させる。一定ピッチdの矩形パルス形状の可動電極6をアーム2の先端付近に基板1と平行に支持させ、アーム2の先端に平板状の重り部3を設ける。基板1に可動電極6と対向させて矩形パルス形状の固定電極8を形成し、基板1の表面にSiNの絶縁膜9を形成し、重り部3がX軸方向並びにその厚さ方向に揺動自在に変位できるように基板1の表面に窪み5を形成する。可動電極6に入力端子10から定電流I1を通電し、加えられた加速度により固定電極8に生じた誘導電流I2のパルス数を検知して加速度を検出する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設け、一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を有する変位可能な可動電極を前記固定電極と一定のギャップを隔てて対向させたことを特徴とする半導体加速度センサ。

【請求項2】 弾性を有するアームの基部を前記基板上で支持し、当該アームの先端側に前記可動電極を設けたことを特徴とする請求項1に記載の半導体加速度センサ。

【請求項3】 前記アームの先端部に重り部を設けたことを特徴とする請求項2に記載の半導体加速度センサ。

【請求項4】 前記アームの基部に歪検出素子を設け、当該歪検出素子によって基板表面と垂直な方向の加速度成分を検出させるようにしたことを特徴とする請求項2又は3に記載の半導体加速度センサ。

【請求項5】 前記重り部の下面に容量形成電極を形成し、前記容量形成電極と対向させて前記基板に別な容量形成電極を設け、当該容量形成電極間の静電容量の変化を検出することによって基板表面と垂直な方向の加速度成分を検出できるようにしたことを特徴とする請求項3に記載の半導体加速度センサ。

【請求項6】 矩形パルス状パターンのピッチ寸法が異なる複数組の前記固定電極及び可動電極を設けたことを特徴とする請求項1、2、3、4又は5に記載の半導体加速度センサ。

【請求項7】 複数組の前記固定電極及び可動電極を備え、一方の組の固定電極及び可動電極と他方の組の固定電極及び可動電極とを互いに直交する方向に配置したことを特徴とする請求項1、2、3、4、5又は6に記載の半導体加速度センサ。

【請求項8】 前記可動電極の少なくとも一部が多結晶シリコン又は単結晶シリコンからなることを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6又は7に記載の半導体加速度センサ。

【請求項9】 前記基板表面の固定電極を含む領域と前記可動電極の固定電極との対向面とのうち、少なくとも一方に絶縁膜を形成したことを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7又は8に記載の半導体加速度センサ。

【請求項10】 シリコンよりなる前記基板の表層部に不純物を導入することによって固定電極を形成し、当該基板の表層部に前記固定電極よりも浅く炭素を導入することによって前記絶縁膜を形成したことを特徴とする請求項9に記載の半導体加速度センサ。

【請求項11】 前記基板表面にシリコン及び炭素を堆積させることにより前記絶縁膜を形成したことを特徴とする請求項9に記載の半導体加速度センサ。

【請求項12】 前記可動電極の下面に圧縮応力を有する支持膜を形成したことを特徴とする請求項1、2、

2

3、4、5、6、7、8、9、10又は11に記載の半導体加速度センサ。

【請求項13】 前記可動電極の上面に引っ張り応力を有する支持膜を形成したことを特徴とする請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10又は11に記載の半導体加速度センサ。

【請求項14】 前記支持膜が窒化シリコンからなることを特徴とする請求項13に記載の半導体加速度センサ。

10 【請求項15】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13又は14に記載の半導体加速度センサを製造するための方法であって、固定電極の表面に予め犠牲層を形成しておき、当該犠牲層の上方に多結晶シリコンからなる構造体を形成し、当該構造体にドーピングパターンもしくは金属パターンによって導電領域を形成することにより可動電極を構成し、前記犠牲層をエッチング除去することによって固定電極と可動電極との間にギャップを形成することを特徴とする半導体加速度センサの製造方法。

20 【請求項16】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13又は14に記載の半導体加速度センサを製造するための方法であって、単結晶シリコン基板の表層部にドーピングパターンもしくは金属パターンによって導電領域を形成し、当該表層部の下方にて単結晶シリコン基板に形成しておいた多孔質シリコンの熱酸化によって酸化膜を形成し、当該酸化膜を犠牲層エッチングすることにより前記表層部に可動電極を形成すると共に当該可動電極の下面にギャップを形成することを特徴とする半導体加速度センサの製造方法。

30 【請求項17】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13又は14に記載の半導体加速度センサを製造するための方法であって、単結晶シリコン基板の表層部にドーピングパターンもしくは金属パターンによって導電領域を形成し、当該導電領域を含む所定領域の周囲において単結晶シリコン基板をトレンチエッチングし、ついで前記所定領域の下方を異方性エッチングすることにより可動電極を形成すると共に当該可動電極の下面にギャップを形成することを特徴とする半導体加速度センサの製造方法。

40 【請求項18】 基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設け、一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を有する伸縮自在な網目状構造の可動電極を前記固定電極と一定のギャップを隔てて対向させ、当該可動電極の一端を支持すると共に他方の自由端に重り部を接続したことを特徴とする請求項1に記載の半導体加速度センサ。

50 【請求項19】 一端を支持された伸縮自在な一対の網目状構造体を重り部の両側に配置すると共に各網目状構造体の自由端を重り部の両側に接続し、少なくとも一方

の網目状構造体に一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を設けて可動電極を構成し、当該可動電極の下方に一定のギャップを隔てて基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設けたことを特徴とする請求項1に記載の半導体加速度センサ。

【請求項20】 一端を支持された伸縮自在な一對の網目状構造体を重り部の三方ないし四方に配置すると共に各網目状構造体の自由端を重り部の外周三面ないし四面に接続し、一方向に配置された網目状構造体のうち少なくとも一方の網目状構造体に一定ピッチの略矩形形状パターンの導電部を設けて可動電極を構成し、他方向に配置された網目状構造体のうち少なくとも一方の網目状構造体にも一定ピッチの略矩形形状パターンの導電部を設けて可動電極を構成し、各可動電極の下方に一定のギャップを隔てて基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設けたことを特徴とする請求項1に記載の半導体加速度センサ。

【請求項21】 前記重り部を挟んで両側に配置された網目状構造体をいずれも可動電極としたことを特徴とする請求項19又は20に記載の半導体加速度センサ。

【請求項22】 前記網目状構造体の少なくとも一部が、多結晶シリコンもしくはポリイミドから構成されていることを特徴とする請求項18、19、20又は21に記載の半導体加速度センサ。

【請求項23】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、18、19、20、21又は22に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、

前記固定電極と前記可動電極のうちいずれか一方の電極に定電流もしくは一定周波数の交番電流を流し、誘導起電力によっていずれか他方の電極に生じた誘導電流の変化を検知することにより加速度を検出させることを特徴とする半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項24】 前記誘導電流をパルス電圧に変換して出力するための電流電圧変換手段を備えたことを特徴とする請求項23に記載の半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項25】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、18、19、20、21又は22に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、

前記可動電極と前記固定電極との間の静電容量の変化を検知することにより、前記基板表面と平行な方向における加速度を検出させることを特徴とする半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項26】 請求項3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13又は14に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、

アームの先端部に設けた重り部の側面に振動用電極を設け、当該振動用電極に静電力を及ぼすことによって重り

部を一定の振動数で振動させ、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に定電流を流して他方の電極に流れる誘導電流の周波数変化を検出し、もしくは可動電極と固定電極の間の静電容量変化を検出するようにしたことを特徴とする半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項27】 請求項3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13又は14に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、

10 アームの先端部に設けた重り部の側面に振動用電極を備え、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように振動用電極に静電力を発生させ、当該振動用電極へ入力するフィードバック信号から加速度を検出するようにした半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項28】 請求項2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13又は14に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、

20 前記アームを振動させるための感熱変形素子をアームの側面に取り付け、感熱変形素子を通電加熱する手段を備え、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように前記感熱変形素子を通電加熱し、当該通電信号から加速度を検出するようにした半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項29】 請求項21に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、

前記可動電極と前記固定電極のうちいずれか一方の電極に定電流もしくは一定周波数の交番電流を流し、誘導起電力によっていずれか他方の電極に生じた誘導電流の変化を出力信号とし、重り部の両側に配置された可動電極又は固定電極の出力信号の差から加速度を検知させるようにした半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項30】 請求項18、19又は20に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、

40 前記重り部の可動電極と接続された側面と反対側の側面に振動用電極を設け、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように振動用電極に静電力を発生させ、当該振動用電極へ入力するフィードバック信号から加速度を検出するようにした半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項 3 1】 前記重り部の略直交する方向の 2 側面にそれぞれ可動電極を接続し、重り部の各可動電極を接続された側面と反対側の側面にそれぞれ振動用電極を設け、2 方向の加速度を検出するようにしたことを特徴とする請求項 3 0 に記載の半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項 3 2】 請求項 1 9 又は 2 0 に記載の半導体加速度センサを用いた加速度検出方式であって、前記重り部を挟んで重り部の一方側面に接続された網目状構造体を可動電極とし、他方側面に接続された網目状構造体をアクチュエータとし、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように前記アクチュエータを駆動し、当該アクチュエータの駆動信号から加速度を検出するようにした半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【請求項 3 3】 前記重り部の略直交する方向の 2 側面にそれぞれ可動電極を接続し、重り部の各可動電極を接続された側面と反対側の側面にそれぞれ前記アクチュエータを接続し、2 方向の加速度を検出するようにした請求項 3 2 に記載の半導体加速度センサによる加速度検出方式。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は半導体加速度センサ及びその製造方法、ならびに当該加速度センサによる加速度検出方式に関する。具体的にいうと、電磁誘導式のパルス変換法を応用した半導体加速度センサ、加速度センサの製造方法、加速度センサによる加速度検出方式に関する。

【0002】

【従来の技術とその問題点】 従来の半導体加速度センサの検出方式としては、ピエゾ抵抗素子や歪みゲージ等を利用したピエゾ検出方式や電極間の静電容量を利用した静電容量検出方式のものがある。ピエゾ検出方式とは、加速度によって撓み易いセンサ部分にピエゾ抵抗素子や歪みゲージ等を設け、加速度によって受けた撓みにより生じる抵抗値の変化を検出することによって加速度の大きさを検出するものである。

【0003】 近年において半導体加速度センサの微小化や高機能化の要求が高まって来ているが、このピエゾ検出方式の加速度センサにおいては、ピエゾ抵抗素子や歪みゲージ等を小さくするとその抵抗値の変化の検出が困難となるため、加速度センサを微小化することは困難であった。また、例えば、加速度の大きさを求めるための信号処理回路に演算処理装置（CPU）を内蔵した高機能センサにおいては、抵抗値の大きさを示すアナログ信号をデジタル信号に変換して演算処理装置に入力するた

めの A/D 変換が必要となり、A/D 変換回路を付加しなければならないため、加速度センサの信号を検出するための信号処理回路がさらに複雑なものとなっていた。

【0004】 また静電容量検出方式とは、加速度によって可動重りが変位することを利用したものであって、可動重りの上面または下面に形成した可動電極と対向して基板等に固定電極を設け、加速度によって可動重りが変位して両電極間の距離が変化したことを両電極間の静電容量の変化として検出し、加速度の大きさを検出するものである。

【0005】 この静電容量検出方式の加速度センサにあっても、センサの小型化に伴って微小容量の変化を検出できるように容量検出回路を高感度化しなければならず、その対応が困難なものであった。また、ピエゾ検出方式と同様に A/D 変換回路のため容量検出回路等の信号処理回路が複雑なものとなっていた。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は叙上の従来例の欠点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、電磁誘導方式のパルス変換法を用いることにより、上記問題点を解決することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】 本発明による半導体加速度センサは、基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設け、一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を有する変位可能な可動電極を前記固定電極と一定のギャップを隔てて対向させたことを特徴としている。

【0008】 この半導体加速度センサとしては、弾性を有するアームの基部を前記基板上で支持し、当該アームの先端側に前記可動電極を設けたものとすることができる。さらに、前記アームの先端部には、重り部を設けてもよい。

【0009】 この半導体加速度センサにおいては、前記アームの基部に歪検出素子を設け、当該歪検出素子によって基板表面と垂直な方向の加速度成分も検出できるようにすることができる。あるいは、前記重り部の下面に容量形成電極を形成し、前記容量形成電極と対向させて前記基板に別な容量形成電極を設け、当該容量形成電極間の静電容量の変化を検出することによって基板表面と垂直な方向の加速度成分を検出できるようにすることもできる。

【0010】 また、上記半導体加速度センサにおいては、矩形パルス状パターンのピッチ寸法が異なる複数組の前記固定電極及び可動電極を設けることもできる。

【0011】 また、上記半導体加速度センサにおいては、複数組の前記固定電極及び可動電極を備え、一方の組の固定電極及び可動電極と他方の組の固定電極及び可動電極とを互いに直交する方向に配置することもできる。

【0012】さらに、前記可動電極の少なくとも一部は、多結晶シリコン又は単結晶シリコンから構成されていてもよい。

【0013】さらに、前記基板表面の固定電極を含む領域と前記可動電極の固定電極との対向面とのうち、少なくとも一方に絶縁膜を形成してもよい。この場合には、シリコンよりなる前記基板の表層部に不純物を導入することによって固定電極を形成し、当該基板の表層部に前記固定電極よりも浅く炭素を導入することによって前記絶縁膜を形成することができる。あるいは、前記基板表面にシリコン及び炭素を堆積させることにより前記絶縁膜を形成してもよい。

【0014】また、上記半導体加速度センサにおいては、前記可動電極の下面に圧縮応力を有する支持膜を形成してもよく、前記可動電極の上面に引っ張り応力を有する支持膜を形成してもよい。後者の場合には、窒化シリコンによって支持膜を形成することができる。

【0015】本発明による半導体加速度センサの製造方法は、上記半導体加速度センサを製造するための方法であって、固定電極の表面に予め犠牲層を形成しておき、当該犠牲層の上方に多結晶シリコンからなる構造体を形成し、当該構造体にドーピングパターンもしくは金属パターンによって導電領域を形成することにより可動電極を構成し、前記犠牲層をエッチング除去することによって固定電極と可動電極との間にギャップを形成することを特徴としている。

【0016】また、本発明による半導体加速度センサの別な製造方法は、単結晶シリコン基板の表層部にドーピングパターンもしくは金属パターンによって導電領域を形成し、当該表層部の下方にて単結晶シリコン基板に形成しておいた多孔質シリコンの熱酸化によって酸化膜を形成し、当該酸化膜を犠牲層エッチングすることにより前記表層部に可動電極を形成すると共に当該可動電極の下面にギャップを形成することを特徴としている。

【0017】また、本発明による半導体加速度センサのさらに別な製造方法は、単結晶シリコン基板の表層部にドーピングパターンもしくは金属パターンによって導電領域を形成し、当該誘電領域を含む所定領域の周囲において単結晶シリコン基板をトレンチエッチングし、ついで所定領域の下方を異方性エッチングすることにより可動電極を形成すると共に当該可動電極の下面にギャップを形成することを特徴としている。

【0018】本発明による別な半導体加速度センサは、基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設け、一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を有する伸縮自在な網目状構造の可動電極を前記固定電極と一定のギャップを隔てて対向させ、当該可動電極の一端を支持すると共に他方の自由端に重り部を接続したことを特徴としている。

【0019】また、本発明によるさらに別な半導体加速

度センサは、一端を支持された伸縮自在な一对の網目状構造体を重り部の両側に配置すると共に各網目状構造体の自由端を重り部の両側に接続し、少なくとも一方の網目状構造体に一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を設けて可動電極を構成し、当該可動電極の下方に一定のギャップを隔てて基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設けたことを特徴としている。

【0020】また、本発明によるさらに別な半導体加速度センサは、一端を支持された伸縮自在な一对の網目状構造体を重り部の三方ないし四方に配置すると共に各網目状構造体の自由端を重り部の外周三面ないし四面に接続し、一方向に配置された網目状構造体のうち少なくとも一方の網目状構造体に一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を設けて可動電極を構成し、他方向に配置された網目状構造体のうち少なくとも一方の網目状構造体にも一定ピッチの略矩形パルス状パターンの導電部を設けて可動電極を構成し、各可動電極の下方に一定のギャップを隔てて基板表面に一定ピッチの略矩形パルス状パターンを有する固定電極を設けたことを特徴としている。

【0021】上記半導体加速度センサにおいては、前記重り部を挟んで両側に配置された網目状構造体をいずれも可動電極としてもよい。また、前記網目状構造体の少なくとも一部が、多結晶シリコンもしくはポリイミドから構成されていてもよい。

【0022】本発明の上記半導体加速度センサによる加速度検出方式は、上記半導体加速度センサを用いるものであって、前記固定電極と前記可動電極のうちいずれか一方の電極に定電流もしくは一定周波数の交番電流を流し、誘導起電力によっていずれか他方の電極に生じた誘導電流の変化を検知することにより加速度を検出させることを特徴としている。この場合には、前記誘導電流をパルス電圧に変換して出力するための電流電圧変換手段を備えていてもよい。

【0023】本発明の上記半導体加速度センサによる別な加速度検出方式は、前記可動電極と前記固定電極との間の静電容量の変化を検知することにより、前記基板表面と平行な方向における加速度を検出させることを特徴としている。

【0024】また、本発明の半導体加速度センサによるさらに別な加速度検出方式は、アームの先端部に設けた重り部の側面に振動用電極を設け、当該振動用電極に静電力を及ぼすことによって重り部を一定の振動数で振動させ、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に定電流を流して他方の電極に流れる誘導電流の周波数変化を検出し、もしくは可動電極と固定電極の間の静電容量変化を検出するようにしたことを特徴としている。

【0025】また、本発明の半導体加速度センサによるさらに別な加速度検出方式は、アームの先端部に設けた

重り部の側面に振動用電極を備え、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように振動用電極に静電力を発生させ、当該振動用電極へ入力するフィードバック信号から加速度を検出するようにしたことを特徴としている。

【0026】また、本発明の半導体加速度センサによるさらに別な加速度検出方式は、前記アームを振動させるための感熱変形素子をアームの側面に取り付け、感熱変形素子を通電加熱する手段を備え、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように前記感熱変形素子を通電加熱し、当該通電信号から加速度を検出するようにしたことを特徴としている。

【0027】本発明の半導体加速度センサによるさらに別な加速度検出方式は、前記可動電極と前記固定電極のうちいずれか一方の電極に定電流もしくは一定周波数の交番電流を流し、誘導起電力によっていずれか他方の電極に生じた誘導電流の変化を出力信号とし、重り部の両側に配置された可動電極又は固定電極の出力信号の差から加速度を検知させることを特徴としている。

【0028】本発明の半導体加速度センサによるさらに別な加速度検出方式は、前記重り部の可動電極と接続された側面と反対側の側面に振動用電極を設け、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように振動用電極に静電力を発生させ、当該振動用電極へ入力するフィードバック信号から加速度を検出するようにしたことを特徴としている。この場合には、前記重り部の略直交する方向の2側面にそれぞれ可動電極を接続し、重り部の各可動電極を接続された側面と反対側の側面にそれぞれ振動用電極を設け、2方向の加速度を検出するようにしてもよい。

【0029】本発明の半導体加速度センサによるさらに別な加速度検出方式は、前記重り部を挟んで重り部の一方側面に接続された網目状構造体を可動電極とし、他方側面に接続された網目状構造体をアクチュエータとし、可動電極と固定電極のうちいずれか一方の電極に一定周波数の交番電流を流して他方の電極に生じた誘導電流の周波数変化を検知し、もしくは可動電極と固定電極の間に発生する静電容量の変化を検知し、加速度によって生じる前記検知信号の変化を打ち消すように前記アクチュエータを駆動し、当該アクチュエータの駆動信号から加

速度を検出するようにしたことを特徴としている。この場合には、前記重り部の略直交する方向の2側面にそれぞれ可動電極を接続し、重り部の各可動電極を接続された側面と反対側の側面にそれぞれ前記アクチュエータを接続し、2方向の加速度を検出するようにしてもよい。

【0030】

【作用】本発明の半導体加速度センサにあっては、基板表面に設けた矩形パルス状パターンの固定電極に対して矩形パルス状パターンの可動電極を変位可能に設けているので、加速度ないし加速度の変化に伴って可動電極が移動することにより固定電極もしくは可動電極に発生する電気的な信号から加速度ないし加速度の変化を検出することができる。

【0031】例えば、基部を支持された弾性アームの先端側に可動電極を設けることにより、加速度の影響によってアームと共に可動電極を変位ないし振動させることができる。特に、アームの先端部に重り部を設けると、低加速度も感度よく検出できる。

【0032】また、略矩形パルス状パターンの導電部を有する可動電極を伸縮自在な網目状構造に形成し、その自由端に重り部を設けることにより、加速度の影響により可動電極を伸縮させ、それによって可動電極を固定電極に対して変位させることができる。この場合、可動電極の構造体部分を多結晶シリコンやポリイミドによって形成すれば、可動電極の伸縮性を良好にすることができる。

【0033】この半導体加速度センサによって加速度を検出するためには、例えば可動電極（または固定電極）に定電流もしくは定周波数の電流を流しておく、加速度の影響によって可動電極が変位した時、固定電極（または可動電極）には誘導起電力によって誘導電流がパルス状に発生したり、その周波数が変化したりするので、それを検知することによって加速度やその変化を検出できる。この場合、誘導電流をパルス電圧に変換して出力すれば、演算処理装置（CPU）によって直接処理させることができる。

【0034】また、可動電極と固定電極の間の静電容量の変化から加速度を検出することもでき、この場合も従来の静電容量式の加速度センサと異なり、静電容量の変化はパルス信号として出力され、そのパルス数や周波数の変化等から加速度を検出できる。

【0035】また、重り部の側面に設けた振動用電極やアームの側面に設けた感熱変形素子、一方の網目状構造体に形成したアクチュエータで、重り部を一定振動数で振動させておけば、パルス状の出力が得られ、加速度の影響で出力周波数が変化するので、その周波数変化から加速度やその変化を検出することができる。あるいは、重り部の側面に設けた振動用電極やアームの側面に設けた感熱変形素子、一方の網目状構造体に形成したアクチュエータで加速度の影響による出力周波数の変化を打ち

消すようにフィードバック制御すれば、そのフィードバック信号から加速度を検出でき、サーボ式の半導体加速度センサとすることができる。

【0036】また、網目状構造の可動電極を用いたタイプの半導体加速度センサにおいては、重り部の両側に伸縮自在な網目状構造体を設け、いずれかの網目状構造体に導電部を設けて可動電極とすれば、網目状構造体の伸縮方向と直交する横方向に重り部が変位しにくくなり、他軸感度を小さくすることができる。特に、両側の網目状構造体を可動電極にすれば、より大きな出力の信号を得ることができ、感度を向上させることができる。また、重り部の三方ないし四方に網目状構造体を配置し、直交する2方向で可動電極を形成しておけば、基板と平行な2方向において加速度ないし加速度の変化を検出することができ、2次元半導体加速度センサを得ることができる。

【0037】また、可動電極をアームで支持したタイプの半導体加速度センサにおいては、可動電極を複数組設け、互いに直交する方向に配置すれば、基板と平行な2方向の加速度を検出することができ、2次元半導体加速度センサを作製することができる。さらに、アームの基部に歪検出素子を設け、基板と垂直な方向の加速度も検出するようにすれば、2次元ないし3次元半導体加速度センサを得ることができる。また、重り部の下面に容量形成電極を形成し、それと対向させて別な容量形成電極を設け、両容量形成電極間の静電容量の変化を検出するようにしても、3次元半導体加速度センサを得ることができる。

【0038】また、矩形パルス状パターンのピッチ寸法が異なる複数組の固定電極及び可動電極を設ければ、異なる周波数の出力信号を得ることができるので、それぞれの周波数特性を補い合せて出力を安定させることができ、広帯域の振動検出が可能になる。

【0039】また、可動電極を単結晶シリコンまたは多結晶シリコンによって形成すれば、半導体製造プロセスによって可動電極を製作することができ、微細で精密な矩形パルス状パターンを製作することができる。

【0040】また、可動電極と固定電極との間に絶縁膜を設けておけば、可動電極が基板と接触しても可動電極と固定電極間で短絡事故を起こす恐れがない。特に、基板に不純物を導入して固定電極を形成し、固定電極よりも浅く炭素を導入して絶縁膜を形成すれば、基板側に絶縁膜を形成することができる。あるいは、基板表面にシリコン及び炭素を堆積させても基板側に絶縁膜を形成することができる。こうして基板側に絶縁膜を形成すれば、絶縁膜によって可動電極が重くなるのを避けることができる。

【0041】また、可動電極の下面に圧縮応力を有する支持膜を設けたり、可動電極の上面に引っ張り応力を有する窒化シリコン等の支持膜を設けたりすることによ

り、可動電極が自重で基板側へ垂れ下がるのを防止することができ、可動電極と基板ないし固定電極との干渉を避けることができる。

【0042】また、本発明による半導体加速度センサの製造方法によれば、犠牲層の上に可動電極を形成した後、犠牲層をエッチング除去することにより基板とは別な材料からなる可動電極を固定電極と間隔をあけて容易に形成することができる。また、多孔質シリコンの熱酸化による酸化膜を犠牲層エッチングすることにより、一枚の単結晶シリコン基板から基板と可動電極とを一体構造として形成できる。あるいは、トレンチエッチング法を用いれば、一枚の単結晶シリコン基板を用いてシングルサイドプロセスにより基板と可動電極とを一体構造として形成でき、製造工程を簡略化することができる。

【0043】また、重り部の両側に網目状構造の可動電極を設けている場合には、両側の可動電極もしくは固定電極からの出力信号の差から加速度を検知させることもできる。

【0044】

【発明の効果】本発明によれば、加速度もしくは加速度変化を示す検知信号はパルス信号として出力されるので、デジタル信号として処理でき、デジタル信号処理方式の信号処理回路で信号処理を行なう場合でも、従来のアナログ式の加速度センサのようにデジタル／アナログ変換処理回路等を用いることなくデジタル出力とすることができる。従って、デジタル出力方式の半導体加速度センサを簡単な構造によって作製することができ、信号処理回路を簡単にすることができる。また、デジタル信号を出力するので、検出精度を向上させることができ、ノイズにも強く測定誤差の小さい新規な小型の半導体加速度センサを製作できる。

【0045】さらに、従来の静電容量式の加速度センサのように可動電極と固定電極間に大きなエアードランピングが発生して加速度の検出感度が低下することもなく、従来の静電容量式や歪検出方式の加速度センサと比較して広い検出範囲を持つ高感度の半導体加速度センサを製作できる。

【0046】また、新規な加速度検出部分の構造に伴って種々の加速度検出方式も可能となり、用途に応じた検出方式を採用することができ、例えば、可動電極と固定電極のうち検出側でない側の電極に交流電流を流したり、出力信号の位相を検出したりすることにより、可動電極の移動量に比べてより高精度に加速度を検出できる。また、サーボ検出方式の加速度センサとすることによっても加速度センサを高精度化することができる。さらに、より検出精度を高めたい場合や感度の広帯域化を図りたい場合には、ピッチの異なる複数の可動電極と固定電極とを設けることができる。また、1ユニットで容易に2次元加速度センサや3次元加速度センサを構成できる。

【0047】

【実施例】図1(a)は本発明の一実施例である半導体加速度センサB1の概略斜視図(絶縁膜9は省略)であって、図1(b)は図1(a)のX1-X1線における断面図、図1(c)はX2-X2線における一部破断した断面図である。単結晶シリコン基板1の表面全体はSiNの絶縁膜9によって覆われており、シリコン基板1の上面には弾性を有する軸棒状のアーム2が絶縁膜9の表面から浮かせて略平行に配設されており、アーム2の基端部は絶縁膜9の上に設けられた支持台4によって片持ち状に支持されている。また、アーム2の先端には平板状をした重り部3を設け、低加速度の検出を容易にしている。また、アーム2に設けられた重り部3はX軸方向(横方向)及び重り部3の厚さ方向に揺動できるようになっており、重り部3の変位を妨げないようにシリコン基板1の上面には重り部3通常の最大変位よりも大きな窪み5が設けられている。重り部3に近いアーム2の先端付近には、可動電極6が横方向に向けて張り出させるように設けてあり、可動電極6はシリコン基板1表面の絶縁膜9とギャップ15をあけてシリコン基板1の表面と平行に配設されている。可動電極6は、図1(a)

(b)(c)に示すように、多結晶シリコンからなる構造体7aの上面にAl等の金属電極膜7bを形成したものであって、一定ピッチdの矩形パルス状に形成されている。可動電極6の金属電極膜7bの両端は、アーム2及び支持台4の表面を通過して絶縁膜9の表面に配線された接続配線13を介してシリコン基板1の端部において絶縁膜9上に設けられた一対の入力端子10に接続されている。

【0048】なお、構造体7aは必ずしも矩形パルス状である必要はなく、金属電極膜7bが一定ピッチの矩形パルス状となっていればよいが、この実施例のように、可動電極6の全体を矩形パルス状にすることにより可動電極6を軽量化することができ、可動電極6が自重によって下方へ撓み、シリコン基板1と接触するのを防止することができる。また、製造方法で説明するように、可動電極6の構造体7aやアーム2、支持台4及び重り部3は多結晶シリコンから一体として作成される。

【0049】シリコン基板1の表面には、アーム2に設けられた可動電極6と対向させて固定電極8が設けられており、可動電極6と固定電極8との間には一定のギャップ15が設けられている。固定電極8はAl等の金属薄膜によってシリコン基板1表面に配線されており、可動電極6と同一ピッチdの矩形パルス状をしている。固定電極8の両端は、シリコン基板1の表面に配線された接続配線14を介してシリコン基板1の端部に設けられた出力端子11に接続されている。また、固定電極8及び接続配線14を覆うようにしてシリコン基板1の表面全体にはSiNの絶縁膜9が形成されており、出力端子11は絶縁膜9に設けた開口部から露出している。

【0050】可動電極6につながっている入力端子10、10には電源回路(図示せず)が接続されており、可動電極6には電源回路によって一定の直流電流(又は、交番電流)I1を流すことができる。また、固定電極8につながっている出力端子11、11間には固定電極8に流れる誘導電流I2を電圧信号に変換するための抵抗素子12が接続されており、この抵抗素子12の両端電圧は出力電圧として検出回路(図示せず)で検出される。

【0051】この加速度センサB1は図1のX軸方向に働く加速度を検出するものであって、X軸方向に加速度が加わると慣性力のためにアーム2が弾性変形し、アーム2に設けられた可動電極6がシリコン基板1と平行にX軸方向へ容易に変位する。可動電極6の変位量は加速度の変化の大きさにほぼ比例しており、可動電極6が移動することによって固定電極8には電磁誘導による誘導起電力が発生し、矩形パルス状の誘導電流I2が流れる。図2は可動電極6に流れる直流電流I1と固定電極8に流れる誘導電流I2の関係を示している。いま、可動電極6に図2の左から右へ向かう矢印の方向に一定の直流電流I1が流れている場合を考える。まず、加速度センサB1に加速度が加わらず(あるいは、一定の加速度が掛かった状態に維持されて)、可動電極6が変位しない場合には、図3(a)に示すように、固定電極8には誘導電流I2は流れない。つぎに、加速度センサB1に加えられた加速度の変化により可動電極6が+X方向に移動する場合には、以下に説明するように固定電極8に可動電極6の変位量に比例したパルス数の誘導電流I2が流れることになる。例えば可動電極6が固定電極8と完全に重なった状態よりも可動電極6が1/4ピッチ(d/4)だけ-X方向に変位した位置から1/4ピッチだけ+X方向に変位した位置まで移動する期間には、固定電極8には図2の矢印口方向に誘導電流I2が流れる。さらに、可動電極6が1/4ピッチだけ+X方向に変位した位置から3/4ピッチ(3d/4)だけ変位した位置まで移動する期間には、固定電極8には図2の矢印イ方向に誘導電流I2が流れる。可動電極6が合計d(1ピッチ)だけ変位すると元のように可動電極6と固定電極8とが完全に重なった状態となるので、可動電極6に加わる加速度が変動して可動電極6がX軸方向に変位すると、可動電極6が1ピッチ分d移動する度に固定電極8には1周期分ないし1パルス分の誘導電流I2が流れる。固定電極8に流れる誘導電流I2は出力端子11に接続された抵抗素子12によって電圧パルスに電流-電圧変換され、この電圧パルスは検出回路でモニターされ、演算処理装置(CPU)によって信号処理される。このようにして誘導電流I2のパルス数から、可動電極6の変位量すなわち加速度の変化量が検出される。なお、固定電極8に生じる誘導電流I2のパルス数は、可動電極6及び固定電極8のピッチdが小さいほど増加

するので、ピッチ d を小さくすることによって加速度の変化をより高感度、高精度に検出できる。また、固定電極8に生じる誘導起電力は可動電極6に流れる直流電流 I_1 の大きさに比例するので、可動電極6に流れる直流電流 I_1 を大きくすることによって誘導電流 I_2 を大きくすることもできる。さらに、可動電極6に流れる直流電流 I_1 と固定電極8に流れる誘導電流 I_2 とのパルス位相差を検出すれば、1ピッチ d 以下の高精度で加速度の検出が可能になる。

【0052】また、この加速度センサB1によって機械的振動や衝撃等を検出する場合には、重り部3の振動によって可動電極6もX軸方向に振動する。この時、重り部3の振動が激しいと可動電極6の移動速度が大きくなるので、固定電極8から出力される誘導電流 I_2 のパルス周波数が高くなり、振動が緩やかになると可動電極6の移動速度も遅くなるので、固定電極8から出力される誘導電流 I_2 のパルス周波数が低くなる。従って、固定電極8に流れる誘導電流 I_2 のパルス周波数をモニターすることによって振動の強さを検出することもできる。

【0053】また、可動電極6には電源回路によって周波数 f_0 の交番電流 I_1 を流しておいてもよい。この場合には、可動電極6が移動していない場合でも、固定電極8に周波数 f_0 の誘導電流 I_2 が流れる。圧力センサB1に加速度が加わり、可動電極6が移動すると、固定電極8に流れる誘導電流 I_2 の周波数は加速度に応じて Δf だけ変化し、パルス周波数 $f = f_0 + \Delta f$ の誘導電流 I_2 が流れる。したがって、この場合には、固定電極8に流れる誘導電流 I_2 の周波数 f を検出することにより、加速度センサB1に加わった加速度を知ることができる。特に、高周波の交番電流 I_1 を可動電極6に流しておけば、可動電極6の変位が小さい場合にも加速度を高精度に検出することができる。

【0054】したがって、この加速度センサB1においては、固定電極8に流れる誘導電流 I_2 により抵抗素子12に発生するパルス電圧のパルス数やパルス周波数から加速度や振動を検出することができるので、直接デジタル信号として検出信号を出力することができ、高精度の検出を行なうことができる。しかも、デジタル式であるから、従来のアナログ信号出力方式の加速度センサと異なり、ノイズにも強いという特徴があり、演算処理装置で処理する場合にもアナログーデジタル(A/D)変換回路や電流-電圧変換回路を必要とせず、信号処理を直接かつ簡単に行なえる。従って、加速度センサB1を微小化しても高精度で加速度や振動等の検出が可能となり、小型かつ高精度、高感度の加速度センサB1を製作することができる。

【0055】また、シリコン基板1の表面には絶縁膜9を形成しているので、可動電極6が仮に絶縁膜9に接触しても、可動電極6の摩擦を低減することができ、可動電極6の移動を妨げない。

【0056】なお、上記実施例では、可動電極6に直流電流もしくは交番電流 I_1 を流し、固定電極8に誘導電流 I_2 を生じさせるようにしているが、これは逆にしてもよく、固定電極8に直流電流もしくは交番電流を流しておき、可動電極6に発生した誘導電流の変化から加速度や振動等を検出するようにしても差し支えない。

【0057】次に、上記加速度センサB1の製造方法を、図4(a)～(k)の模式的な断面図(具体的な構造や形状を示している訳ではない)に従って詳細に説明する。まず、図4(a)のように準備した単結晶シリコン(シリコンウエハ)からなるシリコン基板21の表面全体にA1の金属薄膜22を形成し(図4(b))、この金属薄膜22をエッチング等によってパターニングし、シリコン基板21の表面に矩形パルス状の固定電極8、金属配線14及び出力端子11を形成する(図4(c))。次に、図4(d)に示すように固定電極8や接続配線14、出力端子11の上からプラズマCVD(PCVD)法によってシリコン基板1の表面全面にSiNを堆積させて絶縁膜9を形成する。ついで、絶縁膜9の全面にSiO₂膜23を形成し(図4(e))、アーム2や重り部3、可動電極6を形成しようとする領域にSiO₂膜23を残すようにしてSiO₂膜23を部分的にエッチング除去し、絶縁膜9の上に残されたSiO₂膜23によって絶縁膜9と可動電極6やアーム2等との間にギャップ15を形成するための犠牲層24を形成する(図4(f))。犠牲層24が形成されると、図4(g)に示すように犠牲層24の上面及び犠牲層24から露出している絶縁膜9の上面に多結晶のポリシリコン層25を堆積させ、図4(h)に示すようにポリシリコン層25の表面にA1を蒸着させて金属薄膜26を形成する。この後、金属薄膜26をエッチングによりパターニングし、可動電極6の矩形パルス状をした金属電極膜7b、接続配線13及び入力端子10を形成する(図4(i))。続いて、ポリシリコン層25をエッチングして可動電極6の構造体7aやアーム2、支持台4、重り部3を一体として形成する(図4(j))。最後に、図4(k)に示すように犠牲層24をエッチングにより除去し、絶縁膜9と可動電極6やアーム2等との間にギャップ15を形成し、図1のような加速度センサB1を作成する。このようにすれば、図1のような構造の加速度センサB1を表面マイクロマシニング技術を用いて容易に製作することができる。

【0058】なお、上記製造方法においては、窪み15のエッチング工程や絶縁膜9に開口部をあける工程については省略した(以下、同様)。

【0059】図5(a)～(g)に示すものは、本発明の別な実施例による加速度センサB2の製造方法を示す概略断面図である。この製造方法によって製造される加速度センサB2は、金属薄膜を用いて固定電極8や可動

電極6等を形成することなく、不純物による導電層によって固定電極8や可動電極6等を形成したものである。以下、この実施例を図5(a)～(g)に従って説明する。まず、図5(a)に示すように準備された単結晶シリコン基板1の表面の固定電極8、接続配線14及び出力端子11を形成しようとする領域に、当該パターンに合わせて開口されたマスク又はパッシベーション膜(図示せず)を用い、イオン注入もしくは不純物拡散により n^+ 又は p^+ 導電層27を形成し、図5(b)に示すように当該導電層27によってシリコン基板1の表層部に固定電極8、接続配線14及び出力端子11を形成する。マスク又はパッシベーション膜を除去した後、図5(c)に示すようにシリコン基板1の表面全面に SiO_2 膜23を堆積させ、図5(d)に示すように SiO_2 膜23を一部エッチング除去することにより犠牲層24を形成する。次に、図5(e)に示すように犠牲層24の上からシリコン基板21の表面に n 型もしくは p 型の不純物をドーパされた導電性のポリシリコン層28を形成し、図5(f)に示すようにポリシリコン層28をエッチングによりパターンニングし、ポリシリコン層28によって矩形パルス状をした可動電極6やアーム2、支持台4、接続配線13、入力端子10及び重り部3を形成する。最後に犠牲層24をエッチング除去してアーム2や重り部3、可動電極6をシリコン基板21の表面から浮かせ、図5(g)のような加速度センサB2を製作する。なお、可動電極6に電流を流す回路を形成するためには、例えば2本のアーム2と2つの支持台4を設ければよい。あるいは、不純物をドーパされていないポリシリコン層28で可動電極6の構造体やアーム2、支持台4等を形成した後、ポリシリコン層28に不純物をドーパすることによって可動電極6を導電化すると共に接続配線13等を回路化してもよい。この実施例のように金属薄膜を用いることなく、イオン注入や不純物拡散等によって固定電極8や可動電極6を形成するようにすれば、加速度センサB2の製造工程を減らすことができ、製造コストを下げることができる。

【0060】なお、図5のような加速度センサB2においても、固定電極8の上に絶縁膜9を形成してもよい。加速度センサB2のような構造において、固定電極8の上に絶縁膜9を設ければ、可動電極6が自重によって撓んでシリコン基板1に触れた時の摩擦を軽減できると共に可動電極6と固定電極8との間の電氣的な短絡事故を防止することができる。図6(a)(b)はこのための構造を備えた2種の加速度センサB3、B4の概略断面図である。図6(a)の加速度センサB3にあっては、シリコン基板1の表層部にイオン注入や不純物拡散等による導電層27からなる固定電極8等を形成した後、シリコン基板1の表層部に導電層27よりも浅く炭素(C)をイオン注入し、シリコン基板1の表層部に絶縁膜35を形成したものである。図6(b)の加速度セン

サB4は、シリコン基板1の表層部にイオン注入や不純物拡散等によって導電層27からなる固定電極8等を形成した後、シリコン基板1の表面にイオンアシスト法によってS1とCを同時に堆積させ絶縁膜36を形成したものである。なお、この絶縁膜36として SiN 膜を用いても差し支えない。

【0061】また、図7に示すものはさらに別な加速度センサB5の一部破断した断面図であって、図7に示すように可動電極6の下面からアーム2の下面にかけて絶縁膜9を形成したものである。この加速度センサB5は、例えば図5(d)のように犠牲層23を形成したシリコン基板1の上面に SiN のパッシベーション膜29を形成し、さらにパッシベーション膜29の上面に n 型イオン又は p 型イオンをドーピングしながらポリシリコンを堆積させてポリシリコン層28を形成し、次に堆積させたパッシベーション膜29及びポリシリコン層28をパターンニングした後、犠牲層24をエッチング除去して作成することができる。

【0062】図8(a)～(g)には、さらに別な実施例である加速度センサB6の製造方法を示す。まず、図8(a)に示すように単結晶シリコンからなるシリコン基板31を準備し、シリコン基板31の表面の固定電極8、接続配線14及び出力端子11を形成させる領域にイオン注入法又は不純物拡散法により比較的深く n^+ 型又は p^+ 型の導電層32を形成する(図8(b))。次に、図8(c)に示すように可動電極6やアーム2等を形成しようとする領域よりも広い領域に前記導電層32と逆導電型の p 型又は n 型の導電領域33を形成し、さらに、この導電領域33内の可動電極6やアーム2等を形成しようとする領域にイオン注入等によって n^+ 型又は p^+ 型の導電層34を形成する(図8(d))。ついで、シリコン基板31の上面にパッシベーション膜(図示せず)を形成し、導電層34の上面にのみ残すようにしてパッシベーション膜を選択的にエッチングし、パッシベーション膜から導電領域33を露出させる。この後、 HF 若しくは $HF + NH_4F$ 等の水溶液中でシリコン基板31と対向電極(図示せず)との間に電流を流すと、露出した導電領域33が多孔質化され、図8(e)に示すように多孔質シリコン領域35が形成される。次いで、このシリコン基板31に熱処理を施すと多孔質シリコン領域35の多孔質シリコンは熱酸化されて酸化シリコン領域(犠牲層)36が形成される(図8(f))。最後に、この酸化シリコン領域36をエッチング除去することにより、導電層34によって可動電極6やアーム2、重り部3が一体に形成されると共に導電層32によって固定電極8や接続配線14等が形成され、可動電極6やアーム2等の下面にギャップ15が形成され、加速度センサB6が作製される。この方法によれば、シリコン基板31(1)の上にポリシリコン層などを作成することなく、1枚のシリコン基板31から加

速度センサを作製することができる。

【0063】図9(a)～(i)は、本発明のさらに別な加速度センサB7の製造方法を示す断面図である。この加速度センサB7は、図9(i)に示すように角枠状のシリコン基板1(41)にガラスカバー40が重ねられ、ガラスカバー40の周辺部をシリコン基板1に接合されている。シリコン基板1にはアーム2の一端がシリコン基板1と水平方向に揺動自在に支持され、アーム2の他端には平板状の重り部3が支持されている。さらにアーム2の先端付近には矩形パルス状をした可動電極6が支持され、可動電極6は単結晶シリコンの構造体7aの上面にドーピング層(導電層)7cが形成されたものである。また、ガラスカバー40の内面には可動電極6と対向させてA1の金属薄膜からなる固定電極8を設けている。

【0064】次に、この加速度センサB7の製造方法について、図9(a)～(i)に従って説明する。まず図9(a)に示すように、単結晶シリコンよりなるシリコン基板41を準備し、シリコン基板41の内周域をエッチングして浅い窪み42を形成する(図9(b))。この窪み42は可動電極6と固定電極8とのギャップ15を形成することになる。ついで、図9(c)に示すように、この窪み42の内面の可動電極6やアーム2及び重り部3を形成する領域にn型又はp型不純物をドーピングしてn+又はp+型の導電領域43を形成する。シリコン基板41の表面にSiNによるパッシベーション膜44を形成し(図9(d))、可動電極6やアーム2及び重り部3の上面及びシリコン基板41の外周域上面にのみ残すようにしてパッシベーション膜44をパターニングする(図9(e))。この後、パッシベーション膜44から露出した領域でシリコン基板41をリアクティブイオンエッチング(RIE)法などによって垂直にエッチングし、導電領域43及びシリコン基板41の外周域以外の領域にトレンチ45を形成する(図9(f))。このとき可動電極6となる矩形パルス状パターン部分では、図10に示すようにシリコン基板41の{110}面方位に沿って矩形パルス状にパターン化されている。ついで、図10に示すように、可動電極6となる矩形パルス状パターン等の各内隅部分において、{110}面方位に対してほぼ45度の角度で可動電極幅wの約1/2の領域を跨ぐようにしてパッシベーション膜44にスリット状の補正パターン46を開口する。この後、シリコン基板41に異方性エッチングを施し、可動電極6やアーム2、重り部3等の浮遊構造体47を形成する(図9(g))。このとき、可動電極6やアーム2、重り部3等の浮遊構造体47は、異方性エッチングによって断面逆三角形に形成され、しかも、補正パターン46を設けた内隅部分では当該部分が補正パターン46を通してエッチングされ、正方形の切り欠き部48(図10に二点鎖線で示す)ができる。この場合、補正パターン

46を設けていないと、可動電極6となる矩形パルス状パターン等の内隅部分では、下のシリコン基板41と分離できず浮遊構造体47を形成することができない。このため、補正パターン46を設けて当該内隅部分をエッチング除去し、切り欠き部48を設けることにより可動電極6やアーム2等を下のシリコン基板41から分離させることができ、浮遊構造体47を片面からのエッチングにより形成することができる。ついで、可動電極6等の上面のパッシベーション膜44を除去して、所望の構造のシリコン基板41を得る(図9(h))。

【0065】一方、基板状のガラスカバー40を準備し(図9(i))、図9(j)に示すようにガラスカバー40の表面にA1による金属薄膜49を蒸着させたのち、金属薄膜49をパターニングして固定電極8や接続配線14等を形成する(図9(k))。

【0066】この後、シリコン基板41とガラスカバー40とを重ね合わせて可動電極6と固定電極8とを対向させ、シリコン基板41の周辺部上面をガラスカバー40に陽極接合して加速度センサB7を製造することができる。

【0067】このような加速度センサB7にあっては、容易に密閉構造とすることができるので、可動電極6を納めた空間を真空にしたり、窒素充填したりすることもでき、自動車の排気ガス等に耐環境性を高めることができる。

【0068】図11はさらに別な実施例である加速度センサB8の一部破断した側面図である。この加速度センサB8では、可動電極部6の上面に引っ張り応力(初期応力)を有する支持膜52を形成している。例えば、ポリシリコンからなる構造体7a上の金属電極膜7bの上面にSiNを堆積させることにより支持膜52を形成している。可動電極6の構造体7aをポリシリコンで形成した場合には、自重によって可動電極6が下方へ撓みやすく、固定電極8と接触して短絡事故を起こしたり、可動電極6の移動が妨げられたりする恐れがあるが、可動電極6上面の支持膜52によって可動電極6上面に引っ張り応力を発生させることにより可動電極6の自由端部を上方へ引き上げるように撓ませることができ、可動電極6と固定電極8との接触を防止することができる。また、重り部3を支持させたアーム2の先端領域にも、支持膜52を形成させておくことによって、重り部3の重量によりアーム2が下方に撓み、重り部3と窪み5の底面とが接触することも防ぐことができる。

【0069】また、図12に示す加速度センサB9のように、構造体7aに不純物を導入して形成した可動電極6の下面に圧縮応力(初期応力)を有する絶縁性の支持膜53を設け、可動電極6の自由端部の下方への撓みを防止するようにしてもよい。

【0070】図13(a)はさらに別な実施例である加速度センサB10の斜視図、図13(b)は図13

(a) のX3-X3線における一部破断した断面図である。加速度センサB10は第1の実施例の加速度センサB1とほぼ同じ構造であって、アーム2の先端部に設けられた重り部3の両側面に振動用電極55a、56aを設け、当該振動用電極55a、56aと対向させて窪み5の両側内壁面にそれぞれ振動用電極55b、56bを設けている。重り部3の両側面の振動用電極55a、56aはそれぞれシリコン基板1上に設けられた振動用入力端子57aに接続されている。また、窪み5内の振動用電極55b、56bはシリコン基板1上に設けられた振動用入力端子57bに接続されている。しかし、可動電極6には定電流I1を流しておき、振動用入力端子57a、57b間に適当な交流電圧やパルス電圧を印加させることにより重り部3はX軸方向に一定の振動数 f_1 で強制的に振動させられている。この振動数 f_1 としては、固定電極8で発生した誘導電流I2の出力周波数 f_0 が信号処理回路の共振周波数と等しくなるように設定しておくのが好ましい。なお、重り部3を振動させるための方法としては、例えば振動用電極55a、56aを一定の正電位もしくは負電位に保ち、振動用電極55b、56bに互いに180°位相をずらせて交流電圧を印加するとよい。あるいは、振動用電極55a、56aにそれぞれ独立して電圧を印加できるように2つの振動用入力端子57aを設け、振動用電極55a、55b間と振動用電極56a、56b間に交互に静電引力を発生させるようにしてもよい。

【0071】しかし、この加速度センサB10に加速度や振動が加わると可動電極6の振動が変化し、固定電極8に流れている誘導電流I2の周波数が通常の周波数 f_0 （例えば、信号処理回路の共振周波数）からずれるので、この周波数の変化から加速度や振動を検知することができる。

【0072】また、図13に示す加速度センサB10と同様な構造の加速度センサにより別な原理の加速度センサを構成することもできる。例えば、つぎのようにしてサーボ式半導体加速度センサB11とすることができる。図14はこの加速度センサB11の制御ブロック図であって、111は可動電極6に一定周波数 f_0 の交番電流I1を流すための電源回路、112は固定電極8に流れる誘導電流I2を検出する信号処理回路、113は振動用電極55a、55b、56a、56bに電圧を印加して重り部3を振動させるための重り部駆動回路である。この加速度センサB11に加速度が加わると、誘導電流I2の出力周波数 f_0 が変化したが、この出力周波数 f_0 の変化は信号処理回路112に検出される。信号処理回路112は出力周波数の変化を検出すると、出力周波数の変化を打ち消すように重り部駆動回路113へフィードバック信号を出力する。そして、振動用電極55a、55b間及び56a、56b間に印加した静電力によって重り部3に力を及ぼし、固定電極8からの出力

周波数ももとの周波数 f_0 と等しくなるように（つまり、可動電極6が変位しないように）制御する。すなわち、固定電極8から出力される出力周波数は加速度が変化しても常に一定値 f_0 となるようにフィードバック制御されている。一方、信号処理回路112は重り部駆動回路113へ出力しているフィードバック信号から加速度を求める。このような方式であると、重り部3がほとんど変位しないので、アーム2が弾性疲労によって破損しにくくなる。

10 【0073】また、図13の加速度センサでは、可動電流6に交番電流I1を流しておき、固定電極8に流れる誘導電流I2の変化から加速度を検出するようにしたが、重り部3を一定の振動数で振動させておき、可動電極6と固定電極8との間の静電容量の変化の周波数を検出することにより加速度を検出するようにしてもよい。さらに、上記サーボ式半導体加速度センサにおいて、可動電極と固定電極との間の静電容量変化の周波数が一定となるようにフィードバック信号を出力させるようにしてもよい。

20 【0074】図15(a)はさらに別な加速度センサB12の斜視図、図15(b)は図15(a)のX4-X4線における一部破断した断面図である。加速度センサB12にあつては、アーム2の基部両側面58a、58bにTiNi（ニチノール）等の形状記憶合金やバイメタル等の薄膜状をした感熱変形素子59a、59bを接合されている。感熱変形素子59a、59bは配線60によって接続端子61a、61b及び61c、61dに接続されており、通電加熱回路（図示せず）によって接続端子61a、61b又は61c、61d間に通電して感熱変形素子59a、59bを加熱することによりアーム2を右側方又は左側方（X軸方向）へ撓ませることができる。

30 【0075】この加速度センサB12においてもサーボ式の加速度センサを構成することができる。すなわち、可動電極6に周波数 f_0 の交番電流I1を流し、固定電極8に周波数 f_0 の誘導電流I2を発生させる。加速度センサB12に加速度が働くと、固定電極8からの出力周波数が変化したが、信号処理回路はこの出力周波数の変化を打ち消すように通電加熱回路にフィードバック信号を出力し、感熱変形素子59a、59bを通電加熱させてアーム2を撓ませる。そして、信号処理回路は、この時のフィードバック信号から加速度もしくは加速度の変化を検出する。

50 【0076】図16に示すものは、本発明の別な加速度センサB13の斜視図である。この加速度センサB13にあつては、互いに直交する2方向に延びた2本のアーム2、62の基部が支持台4によって片持ち状に支持されており、各アーム2、62の先端に設けられた各重り部3、63はシリコン基板1の窪み5、65内に位置している。一方のアーム2からはアーム2と直交する方向

に向けて矩形パルス状をした可動電極6がシリコン基板1から浮かせるようにして延出されており、他方のアーム62からはアーム62と直交する方向に向けて矩形パルス状をした可動電極66が延出されている。従って、両可動電極6、66も互いに直交している。また、シリコン基板1の上面では、可動電極6の下方に可動電極6と平行に固定電極8が設けられており、可動電極66の下方に可動電極66と平行に固定電極68が設けられている。

【0077】可動電極6及び66はいずれも接続配線13によって入力端子10に接続されており、入力端子10から両可動電極6、66に同時に定電流もしくは一定周波数の交番電流を流すことができるようになっている。固定電極8は接続配線14によって出力端子11aに接続され、固定電極68は接続配線64によって出力端子11bに接続されており、固定電極8に発生した誘導電流I2a及び固定電極68に発生した誘導電流I2bは個別に検出できるようになっている。

【0078】従って、この加速度センサB13においては、シリコン基板1のX軸方向の加速度は固定電極8に生じる誘導電流I2aをモニターすることによって検出でき、またシリコン基板1のY軸方向の加速度は固定電極68に生じる誘導電流I2bをモニターすることによって検出することができ、X軸方向及びY軸方向の加速度を同時に検出可能な2次元加速度センサとすることができる。

【0079】また、図17に示すものはさらに別な実施例である加速度センサB14であって、図17(a)はその斜視図、図17(b)はその一部破断した断面図である。加速度センサB14は上記図16の実施例の構成に加え、重り部3(又は63)の下面に容量検出電極71を設け、窪み5の内面に容量検出電極71と微小な隙間72を隔てて別な容量検出電極73が形成され、両容量検出電極71、73の間にコンデンサが構成されている。容量形成電極71、73はそれぞれ接続配線74、74によって、シリコン基板1上に設けられた一対の出力端子75、75に接続されている。しかして、シリコン基板1と垂直なZ軸方向の加速度は容量形成電極71、73間の静電容量の変化によって検出することができるので、全体としては、X軸、Y軸及びZ軸方向の3方向の加速度を同時に検出することができる。

【0080】図18はさらに別な実施例である加速度センサB15の断面図である。この加速度センサB15にあっては、図16の実施例の構成に加え、アーム2の先端領域76の上面にピエゾ抵抗や歪ゲージ等の歪検出素子77が設けられている。加速度センサB15のZ軸方向に加速度が加わると、重り部3の変位によってアーム2の先端領域76が上下に撓むので、これを歪検出素子77で検出することによりZ軸方向の加速度を検出できる。従って、この実施例でも図17の実施例と同様、3

次元方向の加速度を検出することができる。

【0081】図19は、本発明のさらに別な実施例である加速度センサB16であって、可動電極6a、6b、6cを設けられたアーム2の平面図を示している。アーム2には左右両側へ張り出させるようにして、ピッチd1の矩形パルス状をした可動電極6aと、ピッチd2の矩形パルス状をした可動電極6bと、ピッチd3の矩形パルス状をした可動電極6cが平行に配設されている(但し、 $d1 < d2 < d3$)。また、図示しないが、シリコン基板1の表面には、各可動電極6a、6b、6cと対向させて同じピッチd1、d2、d3の矩形パルス状をした3種の固定電極が設けられており、同一ピッチの可動電極6a、6b、6cと固定電極とがギャップを隔てて上下に対向させられている。

【0082】このようにピッチの異なる複数の可動電極6a、6b、6c及び固定電極を設けてあれば、加速度センサB16が加速度を受けた場合、各固定電極からは異なる周波数の出力信号が出力されるので、互いに異なる周波数特性を補いあって検出精度を安定させることができ、信号処理回路内の周波数検出回路の周波数帯域に比較して広い範囲の加速度を検出できるようになり、加速度の検出範囲を広くすることができる。

【0083】図20に示すものは、本発明のさらに別な実施例である加速度センサB17の斜視図である。加速度センサB17はアーム2に設けられた矩形パルス状の可動電極6を接続配線82によって端子80に接続しており、可動電極6と対向させてシリコン基板1の上面に設けられた矩形パルス状の固定電極8が接続配線83によって端子81に接続されている。しかして、X軸方向の加速度によってアーム2が撓み、可動電極6がX軸方向に移動すると、可動電極6と固定電極8間の静電容量Cが図21に示すように変化する。つまり、可動電極6がその1ピッチdだけ変位すると、静電容量も1波長 Δt だけ変化する。従って、この静電容量Cの変化の波数をカウントすることにより加速度の変化を検出することができる。

【0084】従来の静電容量検出方式では、平面状をした2枚の電極間の距離が変化することを利用しているので、電極間にエアードランピングを生じ、加速度センサの検出精度が悪くなるが、この加速度センサB17では可動電極6と固定電極8とが平行移動するためエアードランピングがなく(重り部3と窪み5の間のエアードランピングは窪み5を広くすることによって小さくできる)、加速度の検出精度を高めることができる。また、従来の静電容量式加速度センサではアナログ出力であるが、この加速度センサB17ではデジタル出力となるので、検出精度がより高くなる。なお、可動電極がZ軸方向に変位すると可動電極6と固定電極8との間の静電容量Cが変化するが、X軸方向の加速度は静電容量変化でなく、変化の波数によって検出するので、Z軸方向の振動によ

てX軸方向の検出精度が影響を受けることもない。

【0085】図22(a)は本発明のさらに別な実施例による加速度センサB18の要部を示す斜視図、図22(b)は図22(a)のX5-X5線における断面図である。加速度センサB18にあっては、シリコン基板91上の支持台92に一定の網目ピッチ $d/2$ を有する網目状構造の可動電極93の一端が支持されており、可動電極93はシリコン基板91上の固定電極95と微小な隙間98を隔てている。可動電極93の他端には平板状の重り部94がシリコン基板91と平行に取り付けられている。

【0086】可動電極93の網目状構造体96aは、支持台92や重り部94と共に多結晶シリコンやポリイミド樹脂、単結晶シリコン等から一体に形成されている。可動電極93の網目状構造体96aは網目状構造を変形させることによって伸縮可能となっており、重り部94に加速度が加わると、網目状構造体96aを伸縮させて重り部94が変位するようになっている。また、可動電極93には、網目状構造体96aの表面にA1等の金属薄膜をパターンニングすることにより、あるいはシリコンからなる網目状構造体96aに不純物をドーピングすることにより、図23に示すような一定ピッチの矩形パルス状パターンの導電部96bが形成されており、導電部96bは支持台92及びシリコン基板91の表面に配線された接続配線97を介してシリコン基板91上に設けられた一対の入力端子（図示せず）に接続されている。シリコン基板91の上面には、可動電極93と対向させて、一定ピッチ d の矩形パルス状パターンを有する固定電極95がA1などの金属薄膜により形成されており、シリコン基板91上に設けられた一対の出力端子（図示せず）に接続されている。

【0087】しかして、この加速度センサB18にあっては、例えば、入力端子を通して可動電極93に直流の定電流もしくは一定周波数の交流電流を流しておく。そして、図22のX軸方向に加速度が加わって重り部94がX軸方向に移動すると、可動電極93の導電部96bは固定電極95をX軸方向へ横切って変位するので、固定電極95に発生する誘導電流のパルス数もしくは周波数変化を検出し、X軸方向の加速度を検知することができる。あるいは、固定電極95と可動電極93との間の静電容量の変化から加速度を検知するなど、既に説明したような加速度検出方式を採用することもできる。

【0088】図24に示すものは、本発明のさらに別な実施例である加速度センサB19を示す概略平面図であって、可動電極93a、93bと重り部94等（シリコン基板91は省略）を表わしている。この加速度センサB19にあっては、平板状の重り部94の左右両側に一定の網目ピッチ $d/2$ を有する網目状構造体96aに導電部96bを形成した可動電極93a、93bがシリコン基板91と一定のギャップ98を隔てて配設され、可

動電極93a、93bの基端部は支持台92a、92bに支持され、可動電極93a、93bの自由端は重り部94に接続されている。2つの支持台92a、92bに支持された可動電極93a、93bはその弾性変形により自由に伸縮でき、重り部94が加速度を感知すると、重り部94と共に図24のX軸方向に変位する。シリコン基板91の上面には、矩形パルス状パターンを有する2つの固定電極（図示せず）が各可動電極93a、93bと対向して設けられている。

【0089】しかして、このような構造の加速度センサB19にあっては、X軸方向の加速度を検出することができるが、さらに、重り部94を両側から可動電極93a、93bによって支持しているので、X軸方向と直交する方向に重り部94が変位しにくくなり、X軸方向以外の他軸感度を小さくすることができる。さらに、両側の固定電極から出力を得ることができるので、加速度センサB19の検出感度をより大きくすることができる。

【0090】なお、図24の実施例では、重り部94の両側に配置された各可動電極93a、93bはいずれも網目状構造体96aに金属薄膜もしくはドーピング領域からなる導電部96bを形成されているが、重り部94を可動電極93aと網目状構造体96aとにより支持させるようにしてもよい。すなわち、重り部94を2つの網目状構造体96a、96aによって支持し、一方の網目状構造体96aには導電部96bを設けて可動電極93aとし、他方は導電部96bを設けることなく網目状構造体96aのままにしておいてもよい。従って、この場合には、固定電極も一方のみとなる。

【0091】図25にはさらに別な実施例である加速度センサB20の平面図を示す。この加速度センサB20にあっては、シリコン基板91上に重り部94及び可動電極93a、93b、93c、93dを配置するための凹部101が形成され、凹部101の周囲に支持部92が設けられている。凹部101内の中央には重り部94が配置され、その四方には網目状構造体96aに導電部96bを設けた可動電極93a、93b、93c、93dが配置され、各可動電極93a、93b、93c、93dの基端部は支持部92によって支持され、各可動電極93a、93b、93c、93dの自由端は重り部94の4方向の各側面に一体に接続されている。また、シリコン基板91上には可動電極93a、93b、93c、93dと対向させて、それぞれ矩形パルス状パターンを有する4つの固定電極が形成されている。

【0092】しかして、このようにX軸方向とY軸方向とに可動電極93a、93b、93c、93dを設ければ、X軸及びY軸方向の2方向の加速度を検出できる二次元の加速度センサB20を作製することができる。

【0093】なお、図25のような構造の加速度センサからいずれか1つの可動電極をなくし、3つの可動電極としてもよい。また、重り部を挟んで両側に配置されて

いる網目状構造体のうち一方のみを可動電極としても二次元加速度センサを得るうえで支障はない。

【0094】図26はさらに別な実施例である加速度センサB21を示す一部破断した平面図である。この加速度センサB21では、重り部94の一方側面を支持台92に支持された可動電極93によって支持させ、重り部94の他方側面99に振動用電極102を形成している。また、重り部94の振動用電極102と対向させて別な振動用電極103がシリコン基板91上の別な支持台104の側面105に形成されている。可動電極93には、直流の定電流I1が流れており、振動用電極102、103間には一定周波数 f_1 の交流電圧が印加されていて、加速度が働いていない場合には重り部94が周波数 f_1 で振動しており、固定電極95には一定周波数 f_0 の誘導電流I2が流れている。

【0095】しかして、加速度センサB21に加速度が加わると、加速度センサB21に加えられた加速度の大きさに応じて固定電極に流れる誘導電流I2の周波数は $f = f_0 + \Delta f$ に変化する。したがって、固定電極に流れる誘導電流I2の周波数変化を検出することにより加速度の大きさを知ることができる。

【0096】また、図26に示すような構造の加速度センサB21の別な加速度検知方式としては、可動電極93に一定周波数 f_0 の交流電流I1を流し、固定電極で同じ周波数 f_0 の誘導電流I2を検出するようにしておく。そして、加速度が生じて固定電極に流れる誘導電流I2の周波数が変化した場合には、この周波数変化を打ち消して周波数が一定に保たれるよう振動用電極102、103間に交流電圧を印加する駆動電源にフィードバック信号を出力し、このフィードバック信号から加速度を検出させるようにしてもよい。

【0097】図27は本発明のさらに別な実施例である加速度センサB22を示す一部破断した平面図である。この実施例にあっては、重り部94のX軸方向及びY軸方向の側面を可動電極93a、93bによって支持させ、両可動電極93a、93bを接続された側面と反対側の側面99a、99bにそれぞれ振動用電極102a、102bを設けている。また、支持部92の側面105a、105bにも振動用電極102a、102bと対向して振動用電極103a、103bを形成している。このような加速度センサB22は、図26の加速度センサB21と同様な検出方式によりX及びY軸方向の加速度を同時に検出できる二次元加速度センサとなる。

【0098】図28に示すものはさらに別な実施例である加速度センサB23の一部破断した平面図である。加速度センサB23は図24に示す加速度センサB19とほぼ同様な構造であって、平板状の重り部94の左右両側に網目状をした網目状構造体96a、96aが伸縮自在に形成されている。重り部94の右側の網目状構造体96aには矩形パルス形状の配線パターンからなる導電

部96bを有する可動電極93が形成され、シリコン基板91上には可動電極93と対向して、矩形パルス形状の配線パターンに固定電極（図示せず）が形成されている。

【0099】図29(a)は加速度センサB23のアクチュエータ106を示す平面図、図29(b)はその一部を拡大した平面図である。この加速度センサB23にあっては、重り部94の一方側面に網目状構造体96aに導電部96bを形成した可動電極93を接続しており、重り部94の他方側面には図29(a)(b)に示すような網目状構造のアクチュエータ106を設けている。このアクチュエータ106は、可動電極93に用いたのと同様な網目状構造体96aにドーピング層やA1などの金属薄膜によって2つの導電部107a、107bを形成している。図29(a)に示されているように、2つの導電部107a、107bはいずれも櫛歯状のパターン形状を有しており、網目状構造体96aの両側から互いに接触しないように噛み合せられており、しかも、導電部107a、107bの各部は網目状構造体96aに沿って図29(b)に示すように三角波状にジグザクに折れ曲っている。

【0100】各導電部107a、107bには、接続配線108、108によってそれぞれシリコン基板91上の接続端子（図示せず）に接続されている。一方の導電部例えば107aは一定の電位（正電位もしくは負電位）に保持されており、残る一方の導電部107bには発振器が接続されている。このため、導電部107a、107bの互いにほぼ平行している部分には静電吸引力と斥力とが交互に働き、網目状構造体96aであるアクチュエータ106が縮んだり、延びたりして発振器の出力周波数と同じ周波数で伸縮振動し、重り部94をX軸方向に強制的に変位させることができる。

【0101】したがって、この加速度センサB23にあっては、当該アクチュエータ106を図26の加速度センサB21における一対の振動用電極102、103と同様に用いることができる。すなわち、可動電極93に定電流I1を流しておき、アクチュエータ106で重り部94を一定周波数で振動させ、固定電極に流れる誘導電流I2を検出し、重り部94に加速度が働いたときの誘導電流I2の周波数変化から加速度を求めるようにすることができる。または、可動電極93aに一定電流の交流電流I1を流し、加速度が働いても固定電極から出力される誘導電流I2の周期が変化しないようアクチュエータ106によって重り部94に力を働かせ、固定電極の誘導電流I2に基づいてアクチュエータ106に入力させるフィードバック信号から加速度を検出させるようにすることもできる。

【0102】なお、図27のような構造の加速度センサB22において2箇所の振動用電極102a、102b、103a、103bをそれぞれ上記のようなアクチ

ュエータ106に置き換えれば、アクチュエータ106を用いた2次元方向の加速度を検出可能な加速度センサを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明の一実施例である加速度センサを示す斜視図、(b)は(a)のX1-X1線における断面図、(c)は(a)のX2-X2線における一部破断した断面図である。

【図2】同上の加速度センサに誘導電流が生じる様子を示す説明図である。

【図3】(a)は加速度が加わらない状態の誘導電流を示す図、(b)は加速度が加わっている状態の誘導電流を示す図である。

【図4】(a)～(k)は同上の加速度センサの製造方法を示す断面図である。

【図5】(a)～(g)は本発明の別な実施例である加速度センサの製造方法を示す断面図である。

【図6】(a)は本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す断面図、(b)はさらに別な実施例である加速度センサを示す断面図である。

【図7】本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す断面図である。

【図8】(a)～(g)は本発明のさらに別な実施例である加速度センサの製造方法を示す断面図である。

【図9】(a)～(l)は本発明のさらに別な実施例である加速度センサの製造方法を示す断面図である。

【図10】同上の製造方法におけるマスクパターンを示す図である。

【図11】本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す一部破断した断面図である。

【図12】本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す一部破断した断面図である。

【図13】(a)は本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す斜視図、(b)は(a)のX3-X3線断面図である。

【図14】本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す概略ブロック図である。

【図15】(a)は本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す斜視図、(b)は(a)のX4-X4線断面図である。

【図16】本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す斜視図である。

【図17】(a)は本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す斜視図、(b)はその一部破断した断面図である。

【図18】本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す一部破断した断面図である。

【図19】本発明のさらに別な実施例である複数の可動電極が設けられた加速度センサの要部を示す平面図である。

【図20】本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す斜視図である。

【図21】同上の加速度センサに構成されたコンデンサの静電容量の変化を示す図である。

10 【図22】(a)は本発明のさらに別な実施例である加速度センサを示す一部破断した斜視図、(b)は(a)におけるX5-X5線における断面図である。

【図23】同上の加速度センサの可動電極の配線パターンを示す図である。

【図24】本発明のさらに別な実施例である加速度センサの一部省略した平面図である。

【図25】本発明のさらに別な実施例である加速度センサの一部省略した平面図である。

20 【図26】本発明のさらに別な実施例である加速度センサの一部省略した平面図である。

【図27】本発明のさらに別な実施例である加速度センサの一部省略した平面図である。

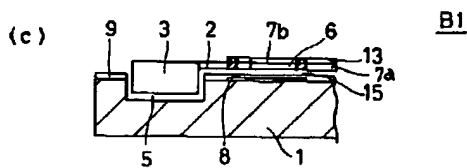
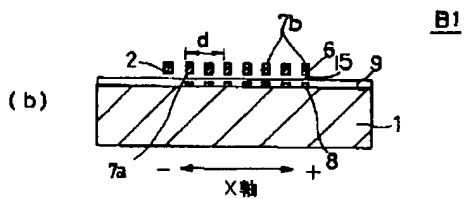
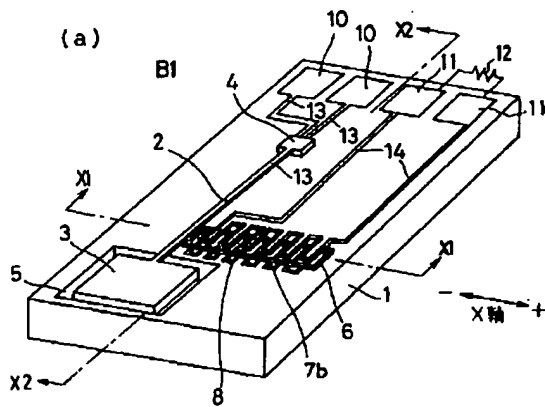
【図28】本発明のさらに別な実施例である加速度センサの一部省略した平面図である。

【図29】(a)は同上の加速度センサの可動電極の配線パターンを示す図、(b)はその一部を示す拡大図である。

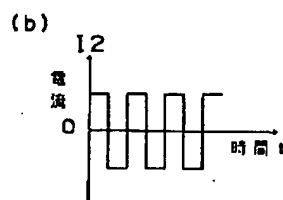
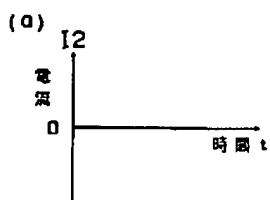
【符号の説明】

- 2 アーム
- 30 3 重り部
- 6 可動電極
- 9 絶縁膜
- 15 ギャップ
- 24 SiO₂膜
- 45 トレンチ
- 52、53 支持膜
- 59a、59b 感熱変形素子
- 66 可動電極
- 68 固定電極
- 40 92 支持台
- 93、93a、93b、93c、93d 可動電極
- 95 固定電極
- 102、103 振動用電極
- 106 アクチュエータ

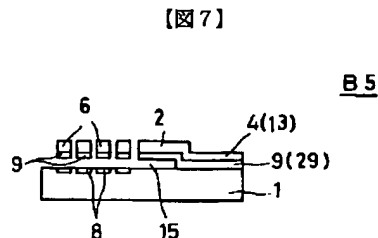
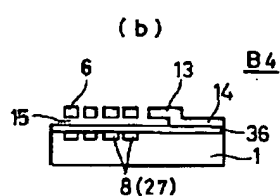
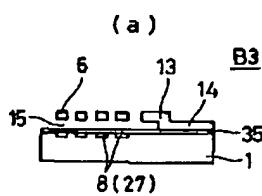
【図 1】



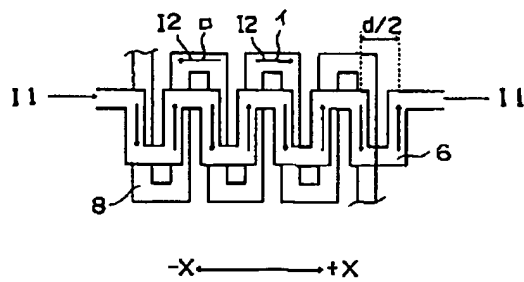
【例 3】



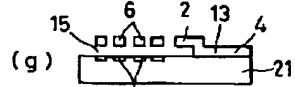
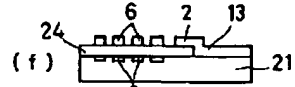
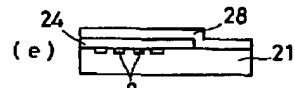
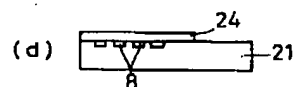
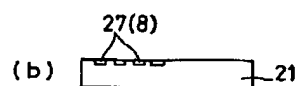
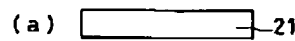
【图6】



【図2】

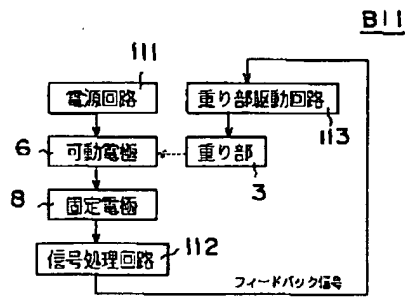


【図5】

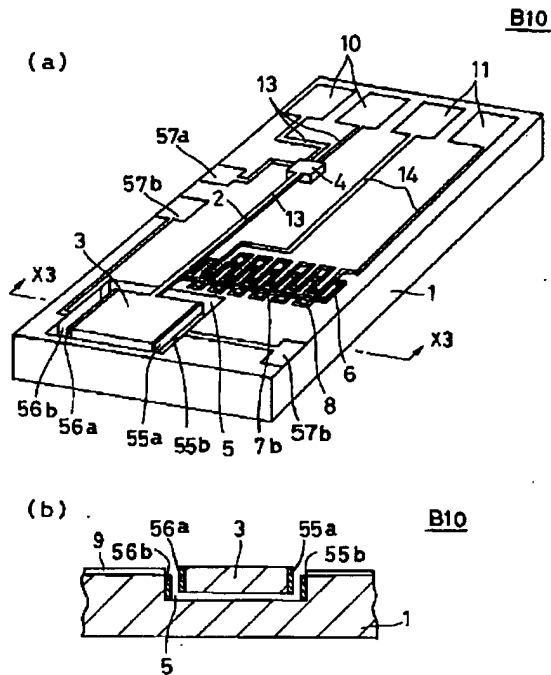


【図 7】

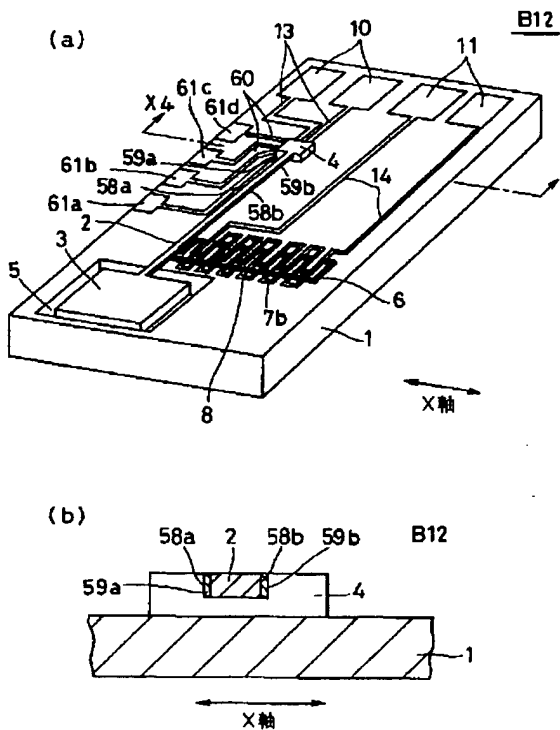
【図14】



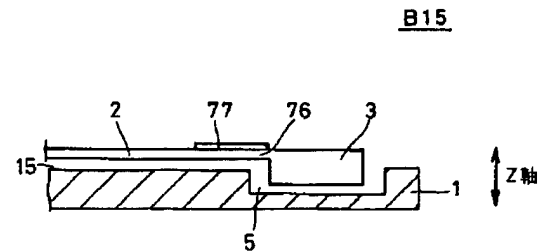
【図13】



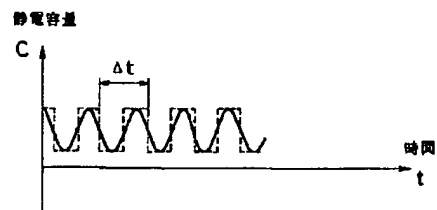
【図15】



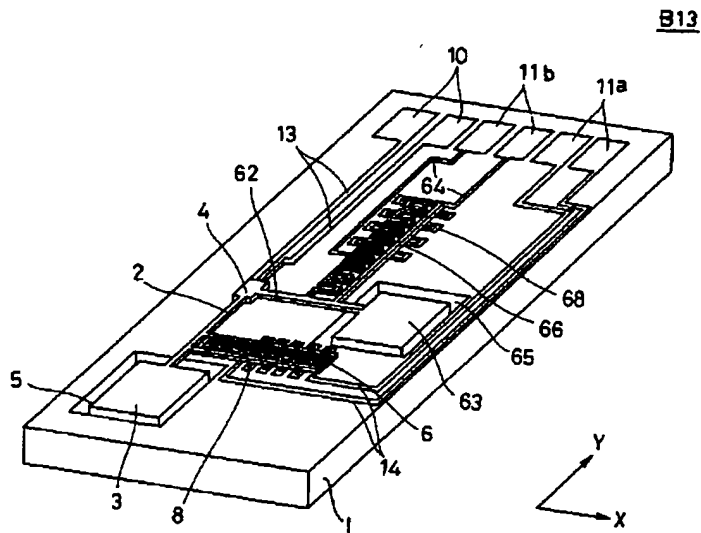
【図18】



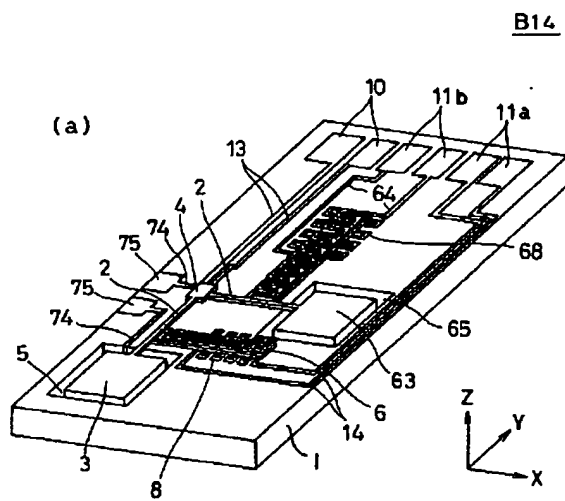
【図21】



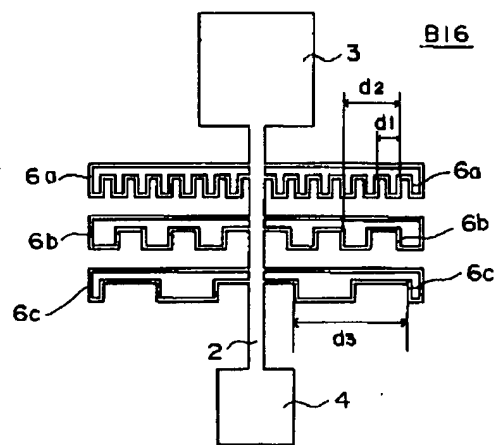
【図16】



【図17】

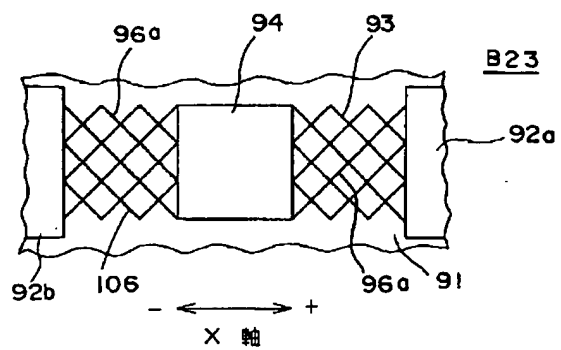
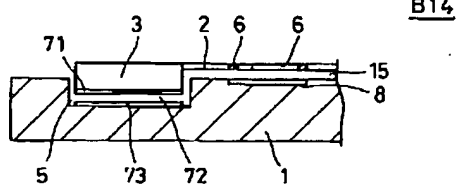


【図19】

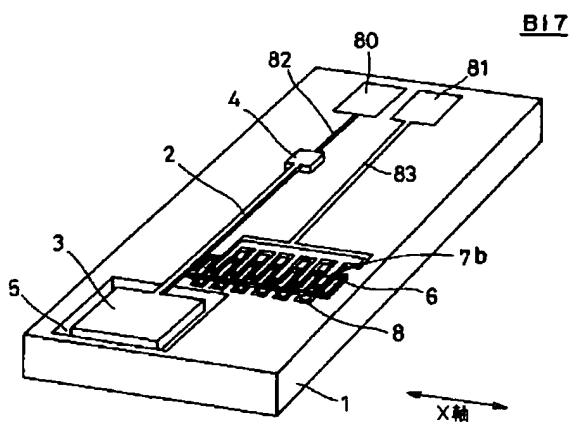


【図28】

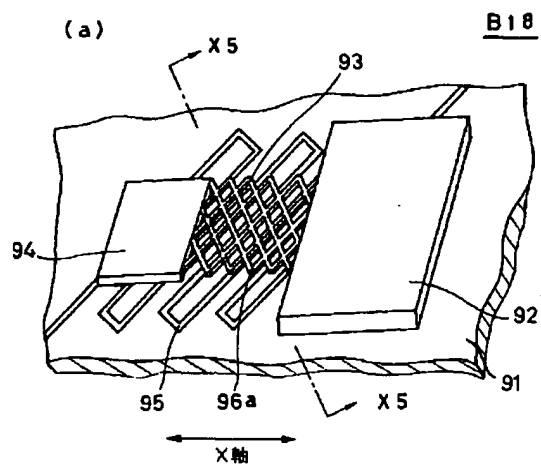
(b)



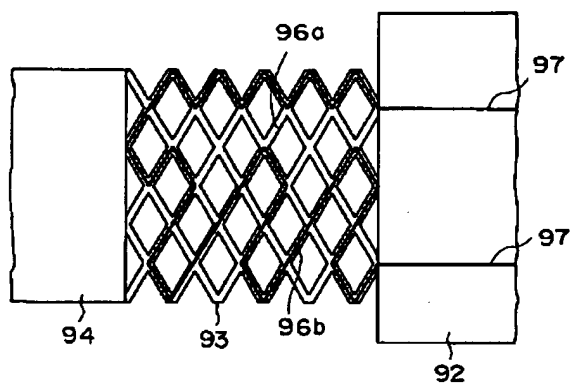
【図20】



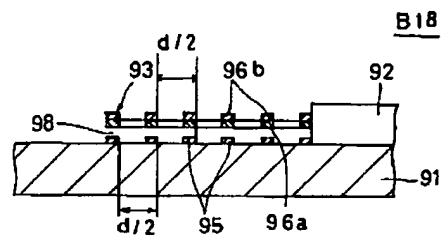
【図22】



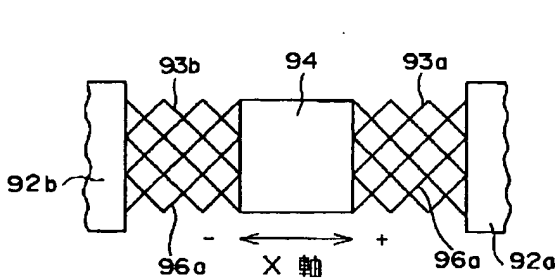
【図23】



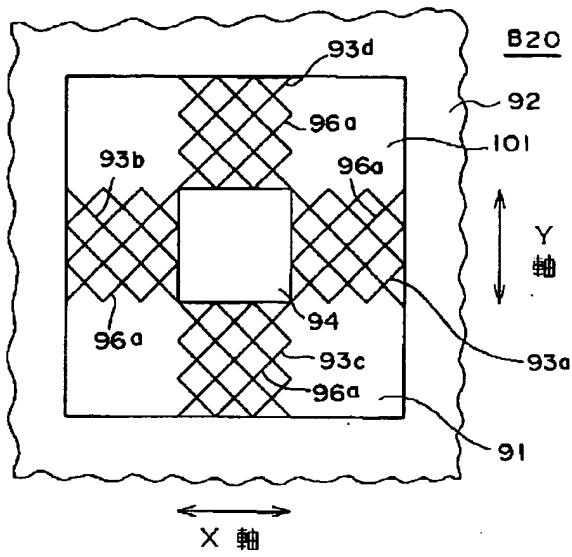
(b)



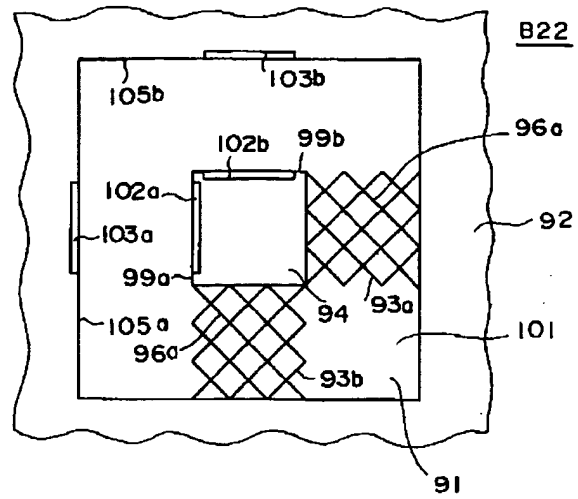
【図24】



【図25】



【図27】



【図29】

